



Estimation de la qualité des données d'expertise des barrages

Aurélie Talon, S. Heyman, C. Curt, H. Felix

► To cite this version:

Aurélie Talon, S. Heyman, C. Curt, H. Felix. Estimation de la qualité des données d'expertise des barrages. 27èmes rencontres AUGC, Jun 2009, Saint-Malo, France. 9 p. hal-00518094

HAL Id: hal-00518094

<https://hal.science/hal-00518094>

Submitted on 16 Sep 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Estimation de la qualité des données d'expertise des barrages

Aurélie TALON* — **Siméon HEYMAN**/**** — **Corinne CURT***** — **Huguette FELIX*****

* Polytech'Clermont-Ferrand / LaMI
24 avenue des Landais – BP 206 – 63174 AUBIERE Cedex
aurelie.talon@polytech.univ-bpclermont.fr

** Polytech'Clermont-Ferrand
24 avenue des Landais – BP 206 – 63174 AUBIERE Cedex
simeon.heyman@polytech.univ-bpclermont.fr

*** Cemagref – Unité Ouvrages Hydrauliques et Hydrologie
3275 Route Cézanne – CS 40061 – 13182 Aix en Provence Cedex 5
corinne.curt@cemagref.fr – huguette.felix@cemagref.fr

RÉSUMÉ. La maîtrise des risques de rupture des barrages est d'une importance majeure dans notre société de par les enjeux associés. De plus, la pertinence des actions de maintenance ou de réparation d'un barrage dépend de la connaissance de sa performance vis-à-vis de ses principaux modes de rupture et de la fiabilité de cette connaissance. Nous nous intéressons ici à l'estimation de la fiabilité du résultat du modèle d'évaluation possibiliste de la performance des barrages, développé par le Cemagref, à partir de l'estimation de la qualité de ses données d'entrée. Ce modèle est en effet basé sur l'utilisation de données multi-sources hétérogènes et imparfaites (imprécises, incertaines et incomplètes). Cette communication détaille plus particulièrement les phases d'analyse et de validation des grilles d'analyse de la qualité des données et d'agrégation des critères de ces grilles de qualité.

ABSTRACT. The control of failure risks of dams is of major importance in our society as regards the associated consequences. Moreover, the relevance of maintenance or repair actions depends on the dam performance knowledge as regards their main failure modes and the reliability of this knowledge. Here, the estimation of the result reliability of the dam performance assessment model, based on evidence theory and developed by the Cemagref, will be considered. The result reliability estimation is done by the quality estimation of the input data. This performance assessment model is based on the use of multisource, heterogeneous and imperfect data (imprecise, uncertain and incomplete data). This communication is more detailing the analysis validation phases of the grids of data quality analysis and the aggregation phase of the criteria of these quality grids.

MOTS-CLÉS : agrégation multicritère, grilles de qualité, approche multi-source.

KEYWORDS: multi-criteria aggregation, quality grids, multi-source approach.

1. Introduction

La maîtrise des risques de rupture des barrages est d'une importance majeure dans notre société de par les enjeux associés (populations, constructions, économiques,...). Cette maîtrise des risques passe par l'évaluation et le contrôle des performances des barrages vis-à-vis de ses principaux modes de rupture et de dégradation (érosion interne dans un remblai, érosion externe, tassement, surverse,...). La performance évolue au cours du temps et est liée aux réponses mécaniques et physiques de l'ouvrage face aux sollicitations climatique, mécanique et hydraulique de son environnement.

Une méthode d'évaluation de la performance des barrages a été proposée par le Cemagref (Curt *et al.*, 2006). Elle est basée sur le recueil, la formalisation et l'agrégation de quatre types de données constituant le système d'évaluation : observations visuelles (tâche d'humidité sur le parement aval, fontis,...), données d'auscultation (mesure de débit, piézométrie,...), données issues de modèles mécaniques (résistance au cisaillement, gradient hydraulique,...), données de conception ou de réalisation (pente, densité,...). La formalisation des données est réalisée sous le format d'indicateurs qui permettent d'obtenir une évaluation robuste. Ces données sont collectées : (i) sur les barrages lors de visites de sûreté par les agents du Cemagref, (ii) lors des inspections régulières (quotidiennes, mensuelles, annuelles,...) par les exploitants ou les bureaux d'étude associés au suivi de ces barrages, (iii) dans le dossier barrage regroupant les informations de conception, de réalisation et d'historique du suivi. L'agrégation de ces données permet d'obtenir la performance de fonctions (étanchéité, drainage...) et la performance de l'ouvrage vis-à-vis de modes de rupture.

Ces quatre types de données ainsi que les règles d'agrégation présentent des imperfections, c'est-à-dire des incertitudes (par exemple, une méconnaissance de l'état de colmatage du drain dans le barrage), des imprécisions (par exemple, une mesure de débit par empotement peu précise) et des incomplétudes (par exemple, l'absence de données d'auscultation due à l'absence de dispositifs d'auscultation). Nous nous consacrons dans cette communication à la qualité des données ; l'analyse de la qualité des règles d'agrégation n'y sera pas traitée.

2. Problématique et démarche générale

Les imperfections attachées aux données ont un effet direct sur la fiabilité du résultat final (évaluation de la performance des barrages). Il est donc important de les prendre en compte. Une méthode de représentation et de propagation des imperfections dans le modèle d'évaluation de la performance a été proposée (Curt et Boissier, 2008). Cette méthode est basée sur la théorie des possibilités. Toutefois, la représentation sous la forme de distributions de possibilité est globale et implicite : les experts expriment une distribution dont ils ont modulé les paramètres en fonction

des imperfections relevées sur la donnée. Notre objectif est ici d'analyser ces imperfections c'est-à-dire d'identifier puis de quantifier les sources d'imperfection. On peut citer comme sources d'imperfection : l'inaccessibilité d'un parement aval pour le cas d'une observation visuelle, la fidélité insuffisante d'un appareil d'auscultation... Deux retombées sont attendues à cette analyse :

- la compréhension des relations entre les sources d'imperfections et les paramètres de la distribution de possibilité ;
- la définition d'actions correctives pour le système d'évaluation : remplacer un instrument de mesure défaillant, faucher le talus aval d'un barrage afin de réaliser les mesures visuelles dans les conditions optimales, nettoyer l'exutoire d'un drain... (cf. Figure 1).

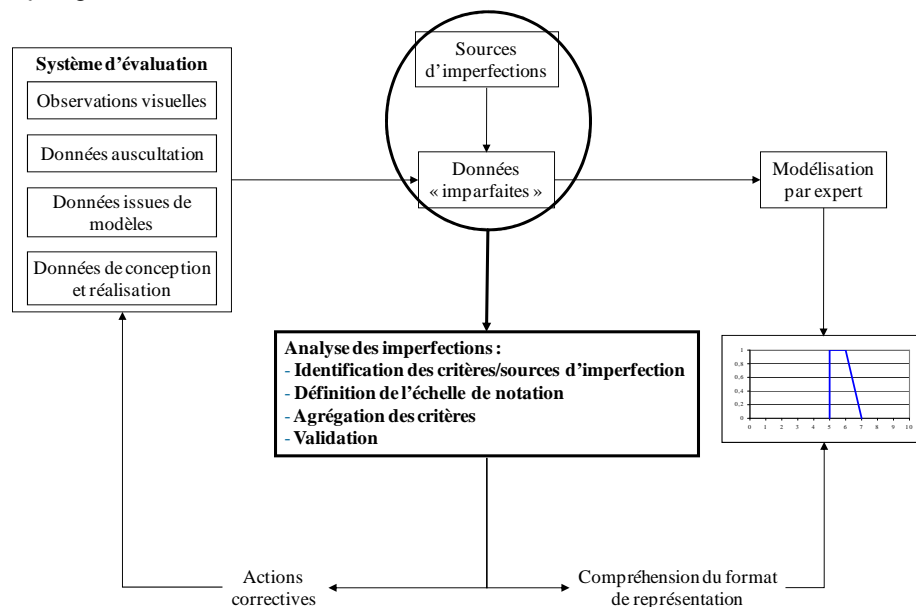


Figure 1. Problématique et démarche générale

La démarche générale d'analyse de la qualité des données a été décrite dans un article précédent et appliquée à deux exemples d'ouvrages de génie civil (bâtiment, barrage) (Talon *et al.*, 2008a). Cette démarche générique comporte cinq phases :

- (1) analyse des caractéristiques du problème et de chaque information disponible,
- (2) définition des critères d'analyse de la qualité des données adaptés au problème posé, soit J le nombre de critères identifiés pour chaque famille d'indicateurs (visuels, auscultés...),

(3) définition de la grille d'analyse permettant d'estimer les critères de qualité,

(4) agrégation des critères de qualité qui mène à l'obtention pour un barrage donné, évalué selon n indicateurs, d'un ensemble constitué de n paires définies par $\{x_i, q_{xi}\}$ avec x_i la donnée collectée et q_{xi} la qualité de la donnée x_i . q_{xi} est obtenue par agrégation de J critères de qualité que nous avons identifiés et regroupés dans les grilles d'analyse définies lors de la phase 3.

(5) validation sur des cas concrets.

Cette communication développe plus précisément les résultats obtenus pour les phases 2 à 4 pour le cas des barrages.

3. Grilles d'analyse de la qualité des données

Ce paragraphe présente conjointement la définition des critères de qualité et l'échelle d'analyse associée. L'analyse est faite pour les différents types de données : observation visuelle, donnée d'auscultation, donnée de conception ou de réalisation provenant d'essais in situ ou d'essais de laboratoire. Le Tableau 1 présente un exemple de critères (classés par catégories) obtenus pour les observations visuelles.

Catégorie	Critère
Qualité de la mesure	1. Analyse / réactivité de l'observateur
	2. Conditions de visibilité - accessibilité
	3. Conditions climatiques
Potentialité du dispositif d'observation	4. Fiabilité des moyens mis en œuvre pour l'observation
	5. Cheminement – temps consacré à la visite
Analyse des données	6. Qualité du rapport
	7. Changement d'observateur (évolution au cours des visites)
	8. Evolution des conditions (saison, niveau de la retenue)

Tableau 1. *Critères de qualité des données d'observations visuelles*

Un premier ensemble de critères a été listé, pour chaque type de données, à l'issue de l'étape d'analyse théorique du système et de ses caractéristiques (Phase 1). Ces listes de critères ont ensuite été présentées à des experts sous forme d'interviews dirigées individuelles ou en groupe restreint afin :

- de valider et / ou de compléter ces listes de critères,
- de définir leur échelle d'évaluation numérique et linguistique ; l'échelle retenue comprend quatre niveaux : 0-Excellent, 1-Bon, 2-Mauvais, 3-Médiocre,
- d'affecter, par indicateur, les valeurs aux critères pouvant être estimés a priori, c'est-à-dire que l'estimation de ces critères ne dépend pas du barrage ou du diagnostic eux-mêmes. Par exemple, le critère de « maintenance » d'une mesure de débit par empolement est jugée aisée donc l'estimation de ce critère est fixée a priori

à 0-Excellent. De la même manière, le critère de « fidélité de l'instrument » pour une mesure de pression interstitielle avec une cellule à contre-pression est jugé correcte (0-Excellent) alors que la mesure d'un débit par seuil calibré a été jugé comme pouvant générer une légère imperfection (1-Bien).

Plusieurs étapes de validation avec re-formalisations intermédiaires interviennent ensuite : reformulation des grilles en séance plénière, validation des grilles sur des cas d'école en séance, validation des grilles sur des cas concrets réduits, reformulation et validation finale des grilles en séances plénières.

Une validation des quatre grilles de qualité sur des cas d'école a été réalisée en séance afin de s'assurer :

- de l'accord des experts entre eux sur la définition associée à chaque critère,
- de la pertinence des critères retenus,
- de l'applicabilité de ces grilles sur des cas concrets.

Cette validation est réalisée sur la base de fiches supports regroupant : une description succincte du barrage, les informations utiles à l'estimation de l'indicateur considéré, éventuellement des schémas ou photographies du barrage. Les cinq cas d'école réalisés concernent un indicateur visuel « mouvement de dalles », un indicateur ausculté (sans traitement statistique) « débit », un indicateur ausculté « piézométrie », un indicateur basé sur un essai en laboratoire « essai Proctor » et un indicateur basé sur un essai in situ « teneur en eau ». A titre d'exemple, un extrait de la fiche support associée à l'indicateur visuel « mouvement de dalles » est présenté à la Figure 2. Ces cas d'école correspondent à différents barrages. Les experts ont validé, en première approche, les grilles et l'échelle d'évaluation (0-Excellent, 1-Bon, 2-Mauvais, 3-Médiocre) qui permet de différencier des situations différentes.

La validation des grilles sur des cas réduits – 12 barrages – permet d'étendre la validation des grilles sur les cas d'école à des cas concrets de barrages tout en essayant de réduire le temps d'analyse à y consacrer par les experts. Ces cas sont dénommés « cas réduits » dans la mesure où les experts évaluent la qualité des indicateurs non pas sur le dossier complet du barrage considéré, mais sur une synthèse (dénommée « fiche support ») de ce dossier. Cette fiche support regroupe la liste des indicateurs à évaluer et à estimer en qualité, une description succincte du barrage, les informations utiles à l'évaluation et à l'estimation des indicateurs considérés, éventuellement des schémas ou photographies du barrage. Il s'agit donc non plus d'une évaluation mono-indicateur par barrage mais multi-indicateurs pour se rapprocher des conditions réelles.

Les douze cas de validation ont été sélectionnés de manière à s'assurer de l'applicabilité de la méthode d'agrégation sur des cas concrets de barrages

présentant des différences, pouvant influencer les imperfections des données manipulées, vis-à-vis :

- des types de barrages considérés : barrages en remblai avec ou sans masque amont,
- des types et de la localisation des appareils d'auscultations,
- du processus de collecte et d'analyse immédiate des données collectées,
- du processus de traitement a posteriori des données collectées sur le barrage.


Estimation de la qualité de l'évaluation de l'indicateur visuel Mouvement de dalles	
Barrage d'...	
1. Description de l'ouvrage <p>Haut de 36 m sur le terrain naturel, construit entre 1994 et 1997, le barrage est un remblai en enrochements compactés avec dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG). Il permet, à sa cote de retenue normale (172,3 m NGF), de stocker un volume de 2,92 hm³. Il est fondé sur des roches de granite.</p> <p>...</p>	
2. Inspection visuelle <p>Elle s'est déroulée le 30 septembre 2005. Suite à la vidange et au pompage effectué entre le batardeau amont et le barrage, le niveau de l'eau a pu être abaissé à la cote 144,30 environ. Cependant, la capacité limitée des pompes n'a pas permis de vidanger complètement le culot et d'inspecter le contact entre les dalles et le mur de pied (plinthe).</p> <p>...</p>	
3. Dossier photo	
	
Décalage des dalles	

Figure 2. Extrait de la fiche support pour l'estimation de la qualité de l'indicateur visuel « mouvement de dalles »

La répartition des cas de validation a été faite de manière à ce que :

- chaque expert du Cemagref évalue les quatre types de données considérés (observations visuelles, données auscultées, données basées sur des essais en laboratoire, données basées sur des essais in-situ),

– le recoupement pour chaque cas de validation des résultats d'au moins deux experts soit possible.

La réalisation de ces cas réduits ainsi que la présentation aux experts de ces résultats, lors de deux séances plénières, a permis d'aboutir à une version stable des grilles de qualité. Les principales modifications au cours de ces séances ont été :

- l'ajout et la suppression de critères (le nombre de critères final par catégorie de données est cité précédemment) ;
- l'ajout de la définition de chaque critère ; le Tableau 2 présente un exemple de définition et de cas pour le critère « Analyse / Réactivité de l'observateur ».
- l'ajout de cas pour chaque couple {critère ; niveau de l'échelle d'évaluation} ;
- la réévaluation de l'importance relative (pondération) des critères. En effet, les experts ont classés les différents critères de chaque grille d'analyse selon deux classes : critère essentiel et critère important.

Critère	Définition	Cas	
		0 (Excellent)	3 (Très mauvais)
1. Analyse / Réactivité de l'observateur	L'évaluation de l'observateur repose sur sa formation, son expérience et sa réactivité	L'observateur a parfaitement rendu compte de l'état visuel du barrage	L'observateur, malgré son niveau de formation suffisant, a manqué une observation importante

Tableau 2. Définition et cas pour le critère « analyse / réactivité de l'observateur »

Dans une optique de sélection d'une méthode d'agrégation multicritère, le classement relatif des critères par les experts a été traduit sous forme de pondération de telle sorte que la somme des pondérations des critères soit égale à 100. Le Tableau 3 présente le classement obtenu pour les critères associés aux observations visuelles et la transformation de ce classement sous forme de pondération.

Critères	Classement	Pondération
c_1 : Analyse / Réactivité de l'observateur	Essentiel	$\omega_1 = 15,4$
c_2 : Conditions de visibilité – accessibilité	Essentiel	$\omega_2 = 15,4$
c_3 : Conditions climatiques	Essentiel	$\omega_3 = 15,4$
c_4 : Fiabilité des moyens mis en œuvre pour l'observation	Important	$\omega_4 = 7,7$
c_5 : Cheminement – temps consacré à la visite	Important	$\omega_5 = 7,7$
c_6 : Qualité du rapport	Essentiel	$\omega_6 = 15,4$
c_7 : Changement d'observateur (évolution au cours des visites)	Important	$\omega_7 = 7,7$
c_8 : Evolution des conditions (saison, niveau de la retenue)	Essentiel	$\omega_8 = 15,4$

Tableau 3. Classement des critères de qualité des observations visuelles et pondération associée

Quatre grilles d'analyse ont été obtenues à l'issue de deux séances plénières pour : (1) les données issues des observations visuelles, (2) les données d'auscultations avec traitement statistique, (3) les données issues des essais en laboratoire et (4) les données provenant des essais in-situ. Cette décomposition permet d'avoir à estimer uniquement les critères pertinents pour le type de données considéré.

Au final, les grilles comportent :

- 8 critères pour les données visuelles (*cf.* Tableau 1),
- 13 critères pour les données d'auscultations,
- 10 critères pour les données basées sur des essais en laboratoire,
- 7 critères pour les données basées sur des essais in-situ.

Bien que distinctes par certains critères, ces grilles contiennent trois catégories communes de critères : (1) la qualité de la mesure réalisée (observation, auscultation, échantillonnage), (2) la potentialité du dispositif d'observation / auscultation / essai et (3) l'analyse / traitement des mesures.

4. Agrégation des critères de qualité des données

Ce paragraphe est associé à la quatrième phase de la méthode d'analyse de la qualité des données et présente la démarche de sélection de la méthode d'agrégation des critères de qualité la plus pertinente vis-à-vis des attentes des experts du Cemagref : avoir une estimation globale de la qualité d'une donnée quelque soit le type de donnée considéré (observation visuelle, auscultation, basée sur un essai in situ ou basée sur un essai en laboratoire).

L'objectif de l'agrégation des estimations des critères de qualité d'une donnée est de pouvoir synthétiser l'information contenue dans ces estimations en vue de prendre une décision : (1) la qualité de l'information est satisfaisante et aucune action spécifique n'est à mettre en place ou (2) la qualité de l'information est non satisfaisante et des actions devront être mises en place pour améliorer cette qualité (par exemple, augmenter la fréquence des prises de mesures, changer d'appareil de mesure...).

L'approche proposée consiste à utiliser une méthode d'analyse multicritère pour synthétiser ces estimations de critères de qualité. L'estimation de la qualité des données d'expertise sera utilisée par les experts du Cemagref lors de leur évaluation de la performance des barrages, par conséquent la sélection de la méthode d'analyse multicritère est réalisée par une démarche itérative de consultation de ces experts. Cette démarche comprend quatre phases : (1) recueil des attentes des experts, (2) pré-sélection des méthodes d'analyse multicritère correspondant aux attentes des

experts, (3) analyse et présentation des méthodes aux experts, (4) validation de la méthode retenue sur des cas concrets de barrage. Les étapes 2 et 3 sont réalisées jusqu'à aboutir à la sélection d'une méthode satisfaisante.

4.1. *Recueil des attentes des experts*

Cette phase consiste à transposer notre problématique d'estimation de la qualité des données d'expertise des barrages en termes d'analyse multicritère.

L'objectif de l'analyse de la qualité des données est de connaître la fiabilité d'une donnée d'expertise (observation visuelle, auscultation, donnée de conception ou de réalisation) à partir des estimations des critères de qualité (cf. Tableau 1). Le résultat sera exprimé sur une échelle de 0 à 3 avec les correspondances excellente pour « 0 », bonne pour « 1 », mauvaise pour « 2 » et très mauvaise pour « 3 ».

Les critères de qualité proposés s'apparentent à des pseudo-critères, d'après la définition de (Vincke, 89), avec une structure de préférence décroissante (de 0-Excellent - préférence la plus importante - à 3-Médiocre - préférence la plus faible), réflexive, transitive, qui admet les ex-æquo et permet l'incomparabilité.

Nous avons défini quatre données de référence par grille afin de comparer les données estimées par les experts pour un barrage donné à ces données de référence. Notre problématique s'apparente donc à une problématique de rangement ou de tri, au sens de (Roy, 85), où nous déduisons la classe de fiabilité d'une donnée de son classement de cette donnée par rapport aux données de référence qui prennent les valeurs suivantes :

$\mu_{\text{très bonne}, j} = 0$	$\forall j \in \{\text{critères d'évaluation des quatre grilles de qualité}\}$
$\mu_{\text{bonne}, j} = 1$	$\forall j \in \{\text{critères d'évaluation des quatre grilles de qualité}\}$
$\mu_{\text{mauvaise}, j} = 2$	$\forall j \in \{\text{critères d'évaluation des quatre grilles de qualité}\}$
$\mu_{\text{très mauvaise}, j} = 3$	$\forall j \in \{\text{critères d'évaluation des quatre grilles de qualité}\}$

4.2. *Pré-sélection des méthodes existantes*

Deux types de méthodes d'analyse multicritère ont été analysées : (1) les méthodes d'agrégation complète et (2) les méthodes d'agrégation partielle.


4.2.1. *Méthodes d'agrégation complète*

Les méthodes d'agrégation complète (telles que méthodes multiplicatives, MAUT, AHP,...) permettent d'obtenir une note globale où la prise de décision peut être faite indépendamment des autres données d'expertise considérées mais avec le risque de compensation entre critères. Ce risque de compensation peut être atténué par l'introduction des données de référence. La démarche consiste alors à calculer les notes de qualité associées à la donnée d'expertise et aux données de référence puis à déterminer la fiabilité de la donnée d'expertise par comparaison de ces notes (cf. Figure 3).

Ce risque de compensation peut notamment être augmenté par une pondération importante affectée au critère de « qualité du rapport » qui est relativement difficile à évaluer objectivement.

La figure 3 présente le principe de rangement d'une donnée de « fissures au niveau des joints entre plots » (exemple défini avec les experts) associée à un indicateur visuel en utilisant une somme pondérée.

Données	Critères								Somme pondérée
	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	c ₅	c ₆	c ₇	c ₈	
Donnée à évaluer	0	1	0	0	1	1	3	2	92,3
Donnée « Très bonne »	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Donnée « Bonne »	1	1	1	1	1	1	1	1	100
Donnée « Mauvaise »	2	2	2	2	2	2	2	2	200
Donnée « Très mauvaise »	3	3	3	3	3	3	3	3	300



Fiabilité de la donnée à évaluer : Bonne

Figure 3. Exemple de rangement d'une donnée à évaluer à partir d'une somme pondérée

4.2.2. Méthodes d'agrégation partielle

Les méthodes d'agrégation partielle (méthodes Electre, Promethee, Macbeth,...) permettent d'obtenir une comparaison des données les unes par rapport aux autres sans compensation des critères. En fonction des caractéristiques de notre problématique d'évaluation de la qualité des données, définies au § 4.1, nous avons pu présélectionner les méthodes permettant de répondre à cette problématique à partir de l'arbre de décision des principales méthodes d'aide à la décision proposé par (Lemaire, 06).

Nous avons présélectionné, à partir de cet arbre, trois types de méthodes :

- Electre II et Macbeth correspondant à une problématique de rangement avec détermination des poids des critères, en considérant des vrais critères et en acceptant une compensation partielle entre valeurs affectées aux critères ;
- Electre III, Promethee II et Exprom II correspondant à une problématique de rangement avec détermination des poids des critères, en considérant des critères à seuils ;
- Electre TRI correspondant à une problématique de tri avec une approche de surclassement de synthèse qui permet de définir une structure de préférence à seuils, puis de comparer une donnée d'expertise à des données de références. Le tri des

données d'expertise dans des catégories de fiabilité peut donc être réalisé indépendamment des autres données d'expertise.

Un outil a été développé afin : (1) d'accélérer la phase d'analyse de sensibilité des différentes méthodes présélectionnées, (2) d'intégrer à terme ce « module » d'agrégation des estimations des critères de qualité des données à l'outil existant (développé par le Cemagref) d'évaluation de la performance des barrages.

4.3. Présentation, analyse et validation des méthodes retenues

Les méthodes citées précédemment ont été testées sur la base des estimations, réalisées par les experts du Cemagref, des critères de qualité des cas réels réduits des douze barrages présentés précédemment (cf. § 3). Vingt-six grilles d'évaluations de critères, pour les quatre types d'indicateurs, ont été proposées à quatre experts qui devaient donner la note globale pour chaque indicateur. Le Tableau 4 présente un exemple de grille d'évaluation fournie aux experts pour l'indicateur de « fissures au niveau des joints entre plots » ainsi que la note globale estimée par les experts.

c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	c ₅	c ₆	c ₇	c ₈	Note globale
0	1	0	0	1	1	3	2	Bonne

Tableau 4. Grille d'évaluation de l'indicateur « fissures au niveau des joints entre plots » et estimation globale de l'expert associée

Après analyse de l'application des méthodes pré-sélectionnées sur ces grilles d'évaluations et présentation aux experts, la méthode qui correspond le mieux à leurs attentes est Electre Tri. Une illustration de cette méthode sur l'exemple de « fissures au niveau des joints entre plots » est présentée en Appendice.

Les fiabilités obtenues pour cet exemple sont ici identiques pour les deux méthodes d'agrégation (somme pondérée et Electre Tri) ; cependant le résultat de la méthode Electre Tri dépend des seuils de préférence, d'indifférence, de veto et de coupe. Par conséquent, il est essentiel de réaliser une analyse de sensibilité de cette méthode (et plus généralement des méthodes intégrant des seuils) pour s'assurer de la pertinence du résultat puis de faire une validation auprès des experts pour s'assurer de la cohérence des résultats obtenus.

Le calage des paramètres d'Electre Tri (seuils de préférence, d'indifférence, de veto et de coupe) a été déterminé de manière à minimiser l'écart entre les notes globales données par les experts et la sortie de la méthode Electre Tri. Au final, les mêmes évaluations sont obtenues (note globale et Electre Tri) dans 73% des cas.

Cette méthode va maintenant être testée sur des cas réels complets de barrages.

5. Conclusion et perspectives

Une méthode d'estimation de la qualité des données utilisées au cours des expertises de barrages a été développée : l'ensemble des critères pertinents pour l'estimation de la qualité des différentes données ont été recueillis et formalisés dans des grilles d'analyse validées sur des cas simplifiés. L'étape suivante va consister à valider les grilles sur des cas complets lors de visites de sûreté des barrages. L'intérêt de réaliser des cas de validation complets, en comparaison à des cas de validation réduits, est d'éviter les biais de manque d'information lié à la réduction des renseignements contenus dans les fiches support. Les inconvénients majeurs étant à contrario d'augmenter le temps d'étude nécessaire et d'être dépendant des dates de visites de sûreté des barrages.

En parallèle, une méthode pertinente d'agrégation des critères de qualité d'une donnée d'expertise de barrage a été sélectionnée : Electre Tri. Une analyse de sensibilité a été réalisée sur la base de cas simplifiés de manière à paramétrer les seuils de cette méthode. L'étape suivante sera de tester cette méthode sur des cas complets de barrage. La problématique d'analyse de la qualité des données s'apparente à une problématique de tri d'une donnée recueillie pour un barrage par rapport à des données de référence. Ce rangement permet d'obtenir le niveau de fiabilité de la donnée d'expertise parmi quatre possibles : très bonne, bonne, mauvaise et très mauvaise.

Une fois validée sur des cas concrets de barrages, cette méthodologie permettra de définir les actions à entreprendre sur un barrage en fonction de sa performance vis-à-vis de ses principaux modes de rupture et de la fiabilité de cette performance.

6. Bibliographie

- Curt C., Evaluation de la performance des barrages en service basée sur une formalisation et une agrégation des connaissances, Thèse de doctorat, Université de Clermont-Ferrand II, 2008.
- Curt C., Boissier D., « Utilisation de la théorie des possibilités pour l'évaluation de la performance des barrages », *Actes des XXVIèmes Rencontres Universitaires de Génie Civil, Nancy, France, 04-06 juin 2008*.
- Curt C., Peyras L., Boissier D., « Méthode d'évaluation de la performance des barrages basée sur l'expertise. Application aux barrages en remblai », *Actes du congrès Lambda-Mu 15 – 15ème Congrès de Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement, Lille, France, 10-13 octobre 2006*.
- Lemaire S., Aide au choix des produits de construction sur la base de leurs performances environnementales et sanitaires, Thèse de doctorat, INSA de Lyon, 2006.
- Maystre L.Y., Pictet J., Simos J., *Méthodes multicritères ELECTRE*. Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1994.

Roy B., *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Paris, Economica, 1985.

Talon A., Curt C., Boissier D., « Analyse comparative de la qualité des données appliquée aux domaines des barrages et des bâtiments », *Actes des XXVI^{èmes} Rencontres Universitaires de Génie Civil*, Nancy, France, 04-06 juin 2008.

Talon A., Curt C., Boissier D., « Evaluation de la qualité des données d'expertise des barrages », *Actes du congrès Lambda-Mu 16 – 16ème Congrès de Maîtrise des Risques et de Sécurité de Fonctionnement*, Avignon, France, 7-9 octobre 2008.

Vincke P., *L'aide à la décision multicritère*, Bruxelles, Editions de l'Université de Bruxelles, 1989.

7. Appendice

La figure 4 présente le résultat du tri de la donnée de « fissures au niveau des joints entre plots », définie à la Figure 3 et associée à un indicateur visuel, en utilisant Electre Tri, telle que décrite dans (Maystre *et al.*, 94).

Données	Critères							
	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	c ₅	c ₆	c ₇	c ₈
a ₁ – Donnée « Fissures »	0	- 1	0	0	- 1	- 1	- 3	- 2
a _{TB} – Donnée « Très bonne »	0	0	0	0	0	0	0	0
a _B – Donnée « Bonne »	- 1	- 1	- 1	- 1	- 1	- 1	- 1	- 1
a _M – Donnée « Mauvaise »	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2
a _{TM} – Donnée « Très mauvaise »	- 3	- 3	- 3	- 3	- 3	- 3	- 3	- 3

Matrice de la donnée « fissures au niveau des joints entre plots » et des données de référence (les signes – indiquent le sens décroissant des préférences de ces critères)

Electre Tri se déroule en 5 phases : (1) calcul de l'indice de concordance par critère, (2) calcul de l'indice de concordance globale, (3) calcul de l'indice de discordance par critère, (4) calcul du degré de crédibilité, (5) établissement de la relation de surclassement, (6) affectation (pessimiste et optimiste).

L'indice de concordance par critère est défini par les relations suivantes :

$$c_j(a_i, a_k) = 0 \Leftrightarrow p_j = 1 < \mu_j(a_k) - \mu_j(a_i)$$

$$0 < c_j(a_i, a_k) = (\mu_j(a_i) + p_j - \mu_j(a_k)) / (p_j - q_j) < 1 \Leftrightarrow q_j = 0 < \mu_j(a_k) - \mu_j(a_i) \leq p_j = 1$$

$$c_j(a_i, a_k) = 1 \Leftrightarrow \mu_j(a_k) - \mu_j(a_i) \leq q_j = 0$$

Remarque : la structure des huit critères est identique à savoir un seuil d'indifférence nul et un seuil de préférence de 1 (correspondant la gradation entre deux données de référence).

c(a ₁ , a _{TB})	c(a _{TB} , a ₁)	c(a ₁ , a _B)	c(a _B , a ₁)	c(a ₁ , a _M)	c(a _M , a ₁)	c(a ₁ , a _{TM})	c(a _{TM} , a ₁)
))))))))

c ₁	1	1	1	0	1	0	1	0
c ₂	0	1	1	1	1	0	1	0
c ₃	1	1	1	0	1	0	1	0
c ₄	1	1	1	0	1	0	1	0
c ₅	0	1	1	1	1	0	1	0
c ₆	0	1	1	1	1	0	1	0
c ₇	0	1	0	1	0	1	1	1
c ₈	0	1	0	1	1	1	1	0

Indices de concordance par critère

L'indice de concordance global est donné par l'équation suivante :

$$C_{ik} = (\sum_{\forall j} \omega_j \times c_j(a_i, a_k)) / (\sum_{\forall j} \omega_j)$$

C(a ₁ , a _{TB})	C(a _{TB} , a ₁)	C(a ₁ , a _B)	C(a _B , a ₁)	C(a ₁ , a _M)	C(a _M , a ₁)	C(a ₁ , a _{TM})	C(a _{TM} , a ₁)
0,36	1,00	0,76	0,64	0,92	0,24	1,00	0,08

Indice de concordance globale

L'indice de discordance par critère est défini par les relations suivantes :

$$d_j(a_i, a_k) = 1 \Leftrightarrow v_j = 2 < \mu_j(a_k) - \mu_j(a_i)$$

$$0 < d_j(a_i, a_k) = (\mu_j(a_k) - p_j - \mu_j(a_i)) / (v_j - p_j) < 1 \Leftrightarrow p_j = 1 < \mu_j(a_k) - \mu_j(a_i) \leq v_j = 2$$

$$d_j(a_i, a_k) = 1 \Leftrightarrow \mu_j(a_k) - \mu_j(a_i) \leq p_j = 1$$

Remarque : le seuil de véto pour les huit critères est identique et fixé à 2 (correspondant deux gradations séparant les données de référence).

	d(a ₁ , a _{TB})	d(a _{TB} , a ₁)	d(a ₁ , a _B)	d(a _B , a ₁)	d(a ₁ , a _M)	d(a _M , a ₁)	d(a ₁ , a _{TM})	d(a _{TM} , a ₁)
c ₁	0	0	0	0	0	1	0	1
c ₂	0	0	0	0	0	0	0	1
c ₃	0	0	0	0	0	1	0	1
c ₄	0	0	0	0	0	1	0	1
c ₅	0	0	0	0	0	0	0	1
c ₆	0	0	0	0	0	0	0	1
c ₇	1	0	1	0	0	0	0	0
c ₈	1	0	0	0	0	0	0	0

Indices de discordance par critère

Le degré de crédibilité est donné par :

$$\sigma_S(a_i, a_k) = C(a_i, a_k) \prod_{j \in -F} [(1 - d_j(a_i, a_k)) / (1 - C(a_i, a_k))]$$

avec $\neg F = \{j \mid j \in F, d_j(a_i, a_k) > C(a_i, a_k)\}$ et $F \supset \neg F$ (F est la famille des critères)

σ_S (a_1, a_{TB})	σ_S (a_{TB}, a_1)	σ_S (a_1, a_B)	σ_S (a_B, a_1)	σ_S (a_1, a_M)	σ_S (a_M, a_1)	σ_S (a_1, a_{TM})	σ_S (a_{TM}, a_1)
0,36	1,00	0,76	0,64	0,92	0,24	1,00	0,08

Degrés de crédibilité

La relation de surclassement est établie suivant l'algorithme suivant :

SI $\sigma_S(a_i, a_k) \geq \lambda = 0,64$

SINON $\sigma_S(a_k, a_i) \geq \lambda$ ALORS $a_i I a_k$

SINON $a_i > a_k$

SINON

SI $\sigma_S(a_k, a_i) \geq \lambda$ ALORS $a_i < a_k$

SINON $a_i R a_k$

Remarque : ce seuil de coupe à 0,64 a été défini par calage avec les estimations globales fournies par les experts (cf. 4.3).

	« Très bonne »	« Bonne »	« Mauvaise »	« Très mauvaise »
Donnée « Fissures »	>	>	<	<

Relations de surclassement

La procédure d'affectation pessimiste consiste à affecter la donnée à une catégorie de façon telle que cette donnée surclasse la donnée de référence basse de cette catégorie. La procédure d'affectation optimiste consiste à affecter la donnée à une catégorie de façon telle que l'action de référence haute de cette catégorie soit préférée à la donnée.

Affectation pessimiste : Bonne - Affectation optimiste : Bonne



Fiabilité de la donnée à évaluer : Bonne

Figure 4. Exemple de tri d'une donnée de « fissures au niveau des joints entre plots » à partir d'Electre Tri